

## OPTICAL AMPLIFIER

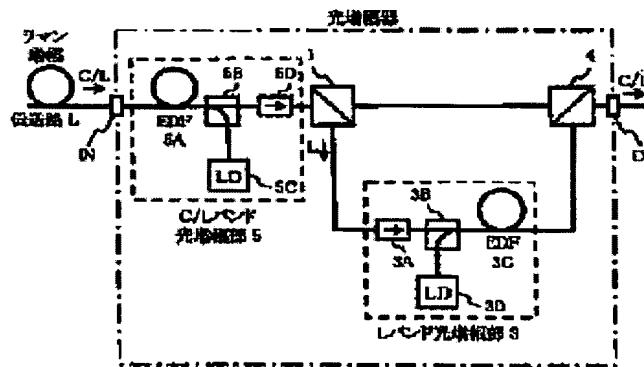
**Patent number:** JP2001102666  
**Publication date:** 2001-04-13  
**Inventor:** SHIMOJO NAOMASA; NAITO TAKAO  
**Applicant:** FUJITSU LTD  
**Classification:**  
 - **international:** H01S3/067; H04B10/17; H01S3/094; H01S3/16;  
 H01S3/23; H01S3/30; H01S3/06; H04B10/17;  
 H01S3/094; H01S3/16; H01S3/23; H01S3/30; (IPC1-7):  
 H01S3/10; G02F1/35; H01S3/06; H04B10/17;  
 H04J14/00  
 - **europen:** H01S3/067G2; H04B10/17A4  
**Application number:** JP19990275012 19990928  
**Priority number(s):** JP19990275012 19990928

**Also published as:**  
 EP1091509 (A)  
 US6882466 (B)  
 EP1091509 (A)

[Report a data error](#)

### Abstract of JP2001102666

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To provide an optical amplifier having a simple constitution, in which deterioration in optical S/N ratio for one wavelength band is decreased and which copes with restrictions on a mounting space and consuming power, etc., in the optical amplifier that amplifies optical signals in two wavelength bands. **SOLUTION:** This optical amplifier is provided with a C/L band optical amplifying part 5 that amplifies each optical signal in a C band and an L band, a branching filter 1, that branches an output light from the C/L-band optical amplifying part 5 into the C band and the L band, an L-band optical amplifying part 3 that amplifies the optical signal in the L band branched by the branching filter 1, and a wave synthesizer 4 that combines optical signal in the C band branched by the branching filter 1 and the optical signal in the L band amplified by the L-band optical amplifying part 3. A part of excitation light in a 1,480 nm band used in the C/L-band optical amplifying part 5 is supplied to a Raman- amplifying/generating medium of a transmission channel L via an input terminal IN, and the Raman-amplified optical signal in the L band is inputted to the C/L-band optical amplifying part 5.



Data supplied from the [esp@cenet](mailto:esp@cenet) database - Worldwide

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2001-102666

(P 2 0 0 1 - 1 0 2 6 6 6 A)

(43) 公開日 平成13年4月13日 (2001. 4. 13)

(51) Int. Cl. <sup>7</sup>	識別記号	F I	テーマコード (参考)
H01S 3/10		H01S 3/10	Z 2K002
G02F 1/35	501	G02F 1/35	5F072
H01S 3/06		H01S 3/06	B 5K002
3/30		3/30	Z
H04B 10/17		H04B 9/00	J

審査請求 未請求 請求項の数17 O.L. (全22頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号	特願平11-275012	(71) 出願人	000005223 富士通株式会社 神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番 1号
(22) 出願日	平成11年9月28日 (1999. 9. 28)	(72) 発明者	下條 直政 神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番 1号 富士通株式会社内
		(72) 発明者	内藤 崇男 神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番 1号 富士通株式会社内
		(74) 代理人	100078330 弁理士 笹島 富二雄

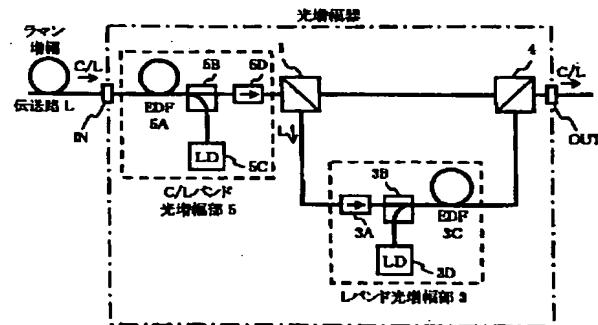
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】光増幅器

(57) 【要約】

【課題】2つの波長帯域の光信号の増幅を行う光増幅器について、一方の波長帯域に対する光S/N比の劣化を低減し、また、実装スペースや消費電力等の制約にも対応できる簡略な構成の光増幅器を提供する。

【解決手段】本光増幅器は、CバンドおよびLバンドの各光信号を増幅するC/Lバンド光増幅部5と、該C/Lバンド光増幅部5の出力光をCバンドとLバンドに分波する分波器1と、該分波器1で分波されたLバンドの光信号を増幅するLバンド光増幅部3と、分波器1で分波されたCバンドの光信号およびLバンド光増幅部3で増幅されたLバンドの光信号を合波する合波器4とを有し、C/Lバンド光増幅部5で用いられる1480nm帯の励起光の一部を入力端子INを介して伝送路しのラマン増幅発生媒体に供給して、ラマン増幅されたLバンドの光信号がC/Lバンド光増幅部5に入力されるようにした構成である。



## 【特許請求の範囲】

【請求項 1】 第 1 波長帯域および第 2 波長帯域の各光信号を含んだ波長多重信号光を増幅する光増幅器において、

励起光が供給された希土類元素ドープファイバを用いて前記波長多重信号光を増幅する光増幅手段を備え、該光増幅手段で用いられる励起光が、前記第 2 波長帯域の光信号に対してラマン増幅を発生させることが可能な波長を有し、

前記光増幅手段の前段側に配置される外部の伝送路の少なくとも一部を形成するラマン増幅発生媒体に、前記光増幅手段で用いられる前記励起光の一部を供給することで、前記ラマン増幅発生媒体でラマン増幅された第 2 波長帯域の光信号を含む波長多重信号光が前記光増幅手段に入力される構成としたことを特徴とする光増幅器。

【請求項 2】 請求項 1 に記載の光増幅器であって、前記波長多重信号光を第 1 波長帯域および第 2 波長帯域の各光信号に分波する分波手段と、該分波手段で分波された第 1 波長帯域および第 2 波長帯域の各光信号を合波する合波手段と、を備え、

前記光増幅手段は、前記分波手段で分波された第 1 波長帯域の光信号を増幅する第 1 光増幅部と、前記分波手段で分波された第 2 波長帯域の光信号を増幅する第 2 光増幅部と、を有し、

前記第 1 増幅部で用いられる前記励起光の一部を、前記ラマン増幅発生媒体に前記分波手段を介して供給することで、前記ラマン増幅発生媒体でラマン増幅された第 2 波長帯域の光信号が前記分波手段を介して前記第 2 光増幅部に入力される構成としたことを特徴とする光増幅器。

【請求項 3】 請求項 2 に記載の光増幅器であって、前記第 1 波長帯域が 1550 nm 帯であり、前記第 2 波長帯域が 1580 nm 帯であるとき、前記第 1 光増幅部で用いられる励起光の波長は、1480 nm 帯を含むことを特徴とする光増幅器。

【請求項 4】 請求項 3 に記載の光増幅器であって、前記第 1 光増幅部は、エルビウムドープファイバと、1480 nm 帯の励起光を発生する少なくとも 1 つの励起光源と、該励起光源で発生した励起光を前記エルビウムドープファイバに後方側から供給する光カプラと、を備え、前記励起光の一部が前記エルビウムドープファイバおよび前記分波手段を通過して前記ラマン増幅発生媒体に供給されることを特徴とする光増幅器。

【請求項 5】 請求項 1 に記載の光増幅器であって、前記波長多重信号光を第 1 波長帯域および第 2 波長帯域の各光信号に分波する分波手段と、該分波手段で分波された第 1 波長帯域および第 2 波長帯域の各光信号を合波する合波手段と、を備え、

前記光増幅手段は、前記分波手段に入力される前記波長多重信号光を一括して増幅する前段光増幅部と、前記分

波手段で分波された第 2 波長帯域の光信号のみを増幅する第 2 光増幅部と、を有し、

前記前段光増幅部で用いられる前記励起光の一部を、前記ラマン増幅発生媒体に供給することで、前記ラマン増幅発生媒体でラマン増幅された第 2 波長帯域の光信号を含む波長多重信号光が前記前段光増幅部に入力される構成としたことを特徴とする光増幅器。

【請求項 6】 請求項 5 に記載の光増幅器であって、

前記第 1 波長帯域が 1550 nm 帯であり、前記第 2 波長帯域が 1580 nm 帯であるとき、前記前段光増幅部で用いられる励起光の波長は、1480 nm 帯を含むことを特徴とする光増幅器。

【請求項 7】 請求項 6 に記載の光増幅器であって、

前記前段光増幅部は、エルビウムドープファイバと、1480 nm 帯の励起光を発生する少なくとも 1 つの励起光源と、該励起光源で発生した励起光を前記エルビウムドープファイバに後方側から供給する光カプラと、を備え、前記励起光の一部が前記エルビウムドープファイバを通過して前記ラマン増幅発生媒体に供給されることを特徴とする光増幅器。

【請求項 8】 請求項 1 に記載の光増幅器であって、

前記ラマン増幅発生媒体は、1.3 μm 零分散シングルモードファイバに比べて非線形実効断面積が小さくなるように設計された光ファイバであることを特徴とする光増幅器。

【請求項 9】 請求項 1 に記載の光増幅器であって、

前記外部の伝送路が、信号光波長帯域について正の波長分散値と正の分散スロープを持つ正分散ファイバと、信号光波長帯域について負の波長分散値と負の分散スロープを持つ負分散ファイバとを接続して形成した混成伝送路であり、負分散ファイバ側の一端が前記光増幅手段の入力側に配置されて、前記ラマン増幅発生媒体として機能することを特徴とする光増幅器。

【請求項 10】 請求項 1 に記載の光増幅器であって、

前記波長多重信号光の出力パワーをモニタして、該出力パワーが一定となるように前記光増幅手段の励起光駆動状態を制御する光パワー一定制御手段を備えて構成されたことを特徴とする光増幅器。

【請求項 11】 請求項 1 に記載の光増幅器であって、

前記光増幅手段における利得をモニタして、該利得が一定となるように前記光増幅手段の励起光駆動状態を制御する利得一定制御手段を備えて構成されたことを特徴とする光増幅器。

【請求項 12】 請求項 1 に記載の光増幅器であって、

前記波長多重信号光と伴に伝達される監視制御信号を処理する監視制御手段を備えて構成されたことを特徴とする光増幅器。

【請求項 13】 第 1 波長帯域および第 2 波長帯域の各光信号を含んだ波長多重信号光を増幅する光増幅器において、

前記波長多重信号光に対して、前記第1波長帯域および第2波長帯域の各光信号を一括して増幅する前段光増幅手段と、

該前段光増幅手段で増幅された波長多重信号光を第1波長帯域の光信号と第2波長帯域の光信号とに分波する分波手段と、

該分波手段で分波された第2波長帯域の光信号のみを増幅する後段光増幅手段と、

前記分波手段で分波された第1波長帯域の光信号と前記後段光増幅手段で増幅された第2波長帯域の光信号とを合波する合波手段と、

を備えて構成されたことを特徴とする光増幅器。

【請求項14】請求項13に記載の光増幅器であって、前記分波手段で分波された第1波長帯域の光信号パワーをモニタする第1パワーモニタ手段と、

前記後段光増幅手段で増幅された第2波長帯域の光信号パワーをモニタする第2パワーモニタ手段と、

前記第1および第2パワーモニタ手段の各モニタ結果に応じて、第1および第2波長帯域についての光パワー偏差が一定となるように、前記前段光増幅手段および前記後段光増幅手段のうちの少なくとも一方の動作を制御する光パワー偏差制御手段と、

を備えて構成されたことを特徴とする光増幅器。

【請求項15】請求項13に記載の光増幅器であって、前記第1波長帯域が1550nm帯であり、前記第2波長帯域が1580nm帯であることを特徴とする光増幅器。

【請求項16】請求項13に記載の光増幅器であって、前記合波手段から出力される波長多重信号光パワーをモニタして、該出力パワーが一定となるように、前記前段光増幅手段および後段光増幅手段の少なくとも一方の動作を制御する光パワー一定制御手段を備えて構成されたことを特徴とする光増幅器。

【請求項17】請求項13に記載の光増幅器であって、前記前段光増幅手段および前記後段光増幅手段における利得をモニタして、該利得が一定となるように、前記前段光増幅手段および後段光増幅手段の少なくとも一方の動作を制御する利得一定制御手段を備えて構成されたことを特徴とする光増幅器。

#### 【発明の詳細な説明】

##### 【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、波長多重信号光を増幅する光増幅器に関し、特に、2つの波長帯域の光信号を含んだ波長多重信号光を一括して増幅する光増幅器に関する。

##### 【0002】

【従来の技術】従来、長距離の光伝送システムでは、光信号を電気信号に変換し、タイミング再生(retiming)、波形等化(reshaping)および識別再生(regenerating)を行なう光再生中継器を用いて伝送を行ってきた。しかし、

現在では光増幅器の実用化が進み、光増幅器を線形中継器として用いる光増幅中継伝送方式が検討されている。光再生中継器を光増幅中継器に置き換えることにより、中継器内の部品点数が大幅に削減され、信頼性が確保されるとともに大幅なコストダウンが見込まれる。

【0003】また、光伝送システムの大容量化を実現する方法のひとつとして、1本の光伝送路に2以上の異なる波長を持つ光信号を多重して伝送する波長多重(WDM)光伝送方式が注目されている。上記の光増幅中継伝送方式とWDM光伝送方式とを組み合わせたWDM光増幅中継伝送方式においては、光増幅器を用いてWDM信号光を一括して増幅することが可能であり、簡素な構成(経済的)で、大容量かつ長距離伝送が実現可能である。

【0004】上記のような従来の光伝送システムに用いられるWDM信号光の波長帯域としては、1550nm帯のいわゆるCバンドに加えて、最近は1580nm帯のいわゆるLバンドが検討されており、両者を1つの伝送路で伝送させるWDM光増幅中継伝送システム(C/LバンドWDM光増幅中継伝送システム)が検討されている。

【0005】CバンドとLバンドの両方に光増幅帯域を有する光増幅器としては、例えば、山田他による、「光ファイバ増幅器・広帯域化に関する最近の研究動向」、信学技報: TECHNICAL REPORT OF IEICE. OCS97-42, ED97-132 OPE97-87 LQE97-87(1997-11)等が知られている。この光増幅器は、図23のブロック図に示すように、入力されるWDM信号光を分波器でCバンドおよびLバンドに分波し、Cバンド光増幅部およびLバンド光増幅部でそれぞれ増幅した後に合波器で合波して出力する簡略な並列構成のものである。

【0006】しかし、CバンドおよびLバンドの各光増幅部の入力側に合波器が設けられるため、その挿入損失分だけ雑音指数が劣化するという問題もあった。これに対処した技術としては、例えば、Lucent社がOptical Amplifier and their Application '97のPostDeadline 2で発表した光増幅器等が知られており、その概略構成は図24のブロック図に示すようなものである。図24の構成は、上記図23の構成について、分波器の前段に、CバンドおよびLバンドの両方に増幅帯域を有するC/Lバンド光増幅部を配置したものであって、少なくとも分波器の挿入損失分以上の利得がC/Lバンド光増幅部により確保され、雑音指数の改善が図られている。

##### 【0007】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、上記のようなC/Lバンド光増幅器では、Cバンド光増幅部の雑音指数とLバンド光増幅部の雑音指数とが異なる場合が多く、一般的に、Lバンドの光信号についての光S/N比がCバンドの光信号に比べて劣化してしまうという欠点があった。具体的には、各バンドの光増幅部に希土類

元素ドープファイバを用いた光ファイバ増幅器を利用した場合、レバンド光増幅部の雑音指数が1dB程度劣化することが知られている。

【0008】また、図24に示したような構成の光増幅器は、光ファイバ増幅部を3つ以上有しているため、励起光源数も増大し、その結果、光増幅器全体の消費電力が増大してしまう。特に、例えば海底中継器等として用いられる光増幅器のように、実装スペースや消費電力などの観点から制約を受ける場合には、図24に示したような構成の実現は困難である。

【0009】さらに、Cバンドおよびレバンドの光パワーのバランスを制御することも重要になる。すなわち、各バンドに含まれる光信号の数（チャネル数）が異なるような設定の場合や、その設定が運用中に変化するような場合などには、各バンドの光増幅部の動作をそれぞれ適切に制御して所要の伝送特性を確保する必要がある。

【0010】本発明は上記の点に着目してなされたもので、2つの波長帯域の光信号の増幅を行う光増幅器について、一方の波長帯域に対する相対的な光SN比の劣化を低減した光増幅器を提供することを第1の目的とする。また、実装スペースや消費電力等の制約にも対応できる簡略な構成の光増幅器を提供することを第2の目的とする。さらに、各波長帯域についての光パワーのバランス制御が可能な光増幅器を提供することを第3の目的とする。

#### 【0011】

【課題を解決するための手段】上記の目的を達成するため、本発明による光増幅器の一つの態様は、第1波長帯域（例えば、1550nm帯等）および第2波長帯域（例えば、1580nm帯等）の各光信号を含んだ波長多重信号光を増幅する光増幅器において、励起光が供給された希土類元素ドープファイバを用いて波長多重信号光を増幅する光増幅手段を備え、該光増幅手段で用いられる励起光が、第2波長帯域の光信号に対してラマン増幅を発生させることができ、光増幅手段の前段側に配置される外部の伝送路の少なくとも一部を形成するラマン増幅発生媒体に、光増幅手段で用いられる励起光の一部を供給することで、ラマン増幅発生媒体でラマン増幅された第2波長帯域の光信号を含む波長多重信号光が光増幅手段に入力される構成としたものである。

【0012】かかる構成によれば、光増幅手段で用いられる励起光の一部を利用して、第2波長帯域の光信号をラマン増幅することが可能となり、ラマン増幅された第2波長帯域の光信号が光増幅手段で増幅されるようになる。これにより、第2波長帯域についての光SN比が改善されて、各波長帯域で特性の揃った光信号が得られるようになる。

【0013】上記光増幅器の具体的な構成の1つとしては、波長多重信号光を第1波長帯域および第2波長帯域

10

20

30

40

の各光信号に分波する分波手段と、該分波手段で分波された第1波長帯域および第2波長帯域の各光信号を合波する合波手段と、を備え、光増幅手段は、分波手段で分波された第1波長帯域の光信号を増幅する第1光増幅部と、分波手段で分波された第2波長帯域の光信号を増幅する第2光増幅部と、を有し、第1増幅部で用いられる励起光の一部を、ラマン増幅発生媒体に分波手段を介して供給することで、ラマン増幅発生媒体でラマン増幅された第2波長帯域の光信号が分波手段を介して第2光増幅部に入力される構成としてもよい。

【0014】また、上記光増幅器の他の具体的な構成としては、波長多重信号光を第1波長帯域および第2波長帯域の各光信号に分波する分波手段と、該分波手段で分波された第1波長帯域および第2波長帯域の各光信号を合波する合波手段と、を備え、光増幅手段は、分波手段に入力される波長多重信号光を一括して増幅する前段光増幅部と、分波手段で分波された第2波長帯域の光信号のみを増幅する第2光増幅部と、を有し、前段光増幅部で用いられる励起光の一部を、ラマン増幅発生媒体に供給することで、ラマン増幅発生媒体でラマン増幅された第2波長帯域の光信号を含む波長多重信号光が前段光増幅部に入力される構成としてもよい。

【0015】本発明による光増幅器の他の態様は、第1波長帯域（例えば、1550nm帯等）および第2波長帯域（例えば、1580nm帯等）の各光信号を含んだ波長多重信号光を増幅する光増幅器において、波長多重信号光に対して、第1波長帯域および第2波長帯域の各光信号を一括して増幅する前段光増幅手段と、該前段光増幅手段で増幅された波長多重信号光を第1波長帯域の光信号と第2波長帯域の光信号とに分波する分波手段と、該分波手段で分波された第2波長帯域の光信号のみを増幅する後段光増幅手段と、分波手段で分波された第1波長帯域の光信号と後段光増幅手段で増幅された第2波長帯域の光信号とを合波する合波手段と、を備えて構成されるものである。

【0016】かかる構成によれば、入力段に設けた前段光増幅手段において、第1波長帯域の光信号が十分なレベルまで増幅され、第2波長帯域の光信号については、不足する利得分が後段光増幅手段で増幅されるようになる。これにより従来の光増幅器に比べて構成の簡略化が図られる。

【0017】また、上記の光増幅器については、分波手段で分波された第1波長帯域の光信号パワーをモニタする第1パワーモニタ手段と、後段光増幅手段で増幅された第2波長帯域の光信号パワーをモニタする第2パワーモニタ手段と、第1および第2パワーモニタ手段の各モニタ結果に応じて、第1および第2波長帯域についての光パワー偏差が一定となるように、前段光増幅手段および後段光増幅手段のうちの少なくとも一方の動作を制御する光パワー偏差制御手段と、を備えて構成されるよう

にするのが好ましい。

【0018】かかる構成によれば、第1波長帯域および第2波長帯域の光パワーのバランス制御が行われるようになる。これにより、各波長帯域についての光増幅をより安定に行うことができ、使用チャネルの変更等にも柔軟に対応することができる。

【0019】上述した本発明による光増幅器の2つの様を組み合わせた構成、すなわち、光増幅手段で用いられる励起光の一部を利用して第2波長帯域の光信号をラマン増幅するとともに、分波された第1波長帯域の光信号を増幅する第1光増幅部を省略して構成の簡略化を図り、さらには、各波長帯域についてのバランス制御を行うようにした構成とすることも可能である。

#### 【0020】

【発明の実施の形態】以下、本発明の実施形態を図面に基づいて説明する。図1は、第1実施形態にかかる光増幅器の基本構成を示すブロック図である。

【0021】図1において、本光増幅器は、外部の伝送路Iから端子INを介して入力されるWDM信号光をCバンドの光信号とLバンドの光信号とに分波する分波手段としての分波器1と、該分波器1で分波されたCバンドの光信号を増幅する第1光増幅部としてのCバンド光増幅部2と、分波器1で分波されたLバンドの光信号を増幅する第2光増幅部としてのLバンド光増幅部3と、Cバンド光増幅部2およびLバンド光増幅部3でそれぞれ増幅された光信号を合波し端子OUTを介して外部に出力する合波手段としての合波器4とを有する。

【0022】ここでは、Cバンドが第1波長帯域に相当し、具体的には、例えば1525～1565nmの波長帯域(1550nm帯)を示すものとする。また、Lバンドが第2波長帯域に相当し、具体的には、例えば1565～1610nmの波長帯域(1580nm帯)を示すものとする。なお、本発明が適用可能な第1、2波長帯域は上記の範囲に限定されるものではない。

【0023】Cバンド光増幅部2は、例えば、エルビウムドープファイバ(以下、EDFとする)2A、WDMカプラ2B、励起光源(LD)2Cおよび光アイソレータ2Dを含んで構成される。

【0024】EDF2Aは、エルビウム(Er)を光ファイバにドープした公知の希土類元素ドープファイバであって、少なくともCバンドに増幅帯域を持つようにその長さ等が最適化されている。このEDF2Aの具体的な設定については後述する。WDMカプラ2Bは、励起光源2Cで発生した励起光をEDF2Aに後方側から供給する光カプラである。励起光源2Cは、EDF2A内のエルビウムを励起することができあり、かつ、Lバンドの光信号に対して外部の伝送路I内でラマン増幅を起こさせることができ可能な波長帯(例えば、1480nm帯等)の励起光を発生する一般的な光源である。光アイソレータ2Dは、WDMカプラ2Bから合波器4に向か

10

う方向にのみ光を通過させる一般的な光部品である。

【0025】Lバンド光増幅部3は、例えば、光アイソレータ3A、WDMカプラ3B、EDF3Cおよび励起光源(LD)3Dを含んで構成される。光アイソレータ3Aは、分波器1からWDMカプラ3Bに向かう方向にのみ光を通過させるものである。WDMカプラ3Bは、光アイソレータ3Aを通過したLバンドの光信号と励起光源3Dで発生した励起光とを合波してEDF3Cに供給する光カプラである。EDF3Cは、エルビウムを光ファイバにドープした公知の希土類元素ドープファイバであって、Lバンドに限って増幅帯域を持つようにその長さ等が最適化されている。このEDF3Cの具体的な設定についても後述する。励起光源3Dは、EDF3C内のエルビウムを励起することができる波長帯(例えば、980nm帯や1480nm帯等)の励起光を発生する一般的な光源である。

20

【0026】なお、EDFを用いてLバンドの光増幅を行う場合、自然放出(ASE)光の発生などの影響を考慮して、前方励起型の構成とすることが一般的である。ただし、EDFの後方側からも励起光を供給し、すなわち、双方向励起型として励起効率の向上を図る場合もある。

20

【0027】また、本光増幅器に接続される外部の伝送路Iは、光伝送路として一般に用いられている1.3μm零分散シングルモードファイバ(SMF)に比べて非線形実効断面積を小さくして、ラマン増幅が発生し易くなるように設計された光ファイバが、少なくとも光増幅器の端子INに接続する側に使用されているものとする。

30

【0028】具体的には、例えば図2に示すように、信号光波長帯域について正の波長分散値と正の分散スロープを持ち非線形実効断面積が相対的に大きな正分散ファイバ(例えば1.3μm零分散SMFなど)を中継区間の前半(光増幅器の出力側)に用い、負の波長分散値と負の分散スロープを持ち非線形実効断面積が相対的に小さな負分散ファイバRDFを中継区間の後半(光増幅器の入力側)に用いた混成伝送路を使用するのが好適である。この混成伝送路を適用することで、光増幅器の入力端から漏れ出る1480nmの励起光がRDFに供給されるようになり、Lバンドの光信号に対して効果的にラマン増幅が発生するようになる。また、これと同時に、前半の1.3μm零分散SMFで発生する波長分散および分散スロープが、後半のRDFによって補償されるようになる。このような混成伝送路を用いてWDM信号光を伝送する技術は、本出願人が先に提案しているものである(特願平11-58499号および特願平11-104158号等を参照)。

40

【0029】なお、本発明による光増幅器に接続される伝送路Iは、上記のような混成伝送路に限られるものではなく、1.3μm零分散SMFよりも非線形実効断面

50

積の小さい光ファイバを中継区間の全域に使用したものであってもよい。また、非線形実効断面積の小さな光ファイバとしては、上記RDF以外にも、例えば分散シフトファイバ(DSF)などを用いても構わない。

【0030】ここで、前述したCバンドまたはLバンドに増幅帯域を有するEDFの設定条件について説明する。図3は、一般的なEDFの単位長さあたりの利得に関する波長特性を各反転分布率(0, 0~1, 0)について示した図である。

【0031】図3に示すように、Cバンド(1550nm帯)については、反転分布率が約0.55以上のときに正の利得を持つようになる。Lバンド(1580nm帯)については、反転分布率が約0.4以上のときに正の利得を持つようになるが、反転分布率が大きくなると利得の波長依存性が大きくなる。Lバンドについて比較的平坦な利得波長特性が得られる反転分布率はおよそ0.45~0.55の範囲になる。

【0032】したがって、Cバンドの光増幅では、EDF2Aの長手方向の平均の反転分布率が0.55以上となるように、EDF2Aの長さや励起光パワーを設定することで、Cバンドの光信号を所要のレベルまで増幅することができるようになる。なお、この設定の場合には、Lバンドの光信号も増幅可能であるが、その利得はCバンドの利得に比べて小さく、波長に対する利得偏差も大きいという特徴がある。一方、Lバンドの光増幅では、EDF3Cの長手方向の平均の反転分布率が0.45~0.55の範囲となるように、EDF3Cの長さや励起光パワー等を設定することで、Lバンドの光信号のみを平坦な利得波長特性で増幅することができる。このような低い反転分布率によるLバンドの光増幅は、具体的には、Cバンドの光増幅に用いられる一般的なEDFを長尺化して反転分布率を低くするなどの方法により実現可能である。

【0033】ここで、前述したラマン増幅について簡単に説明する。ラマン増幅は、ラマン増幅発生媒体に所要の励起光を供給することによって、該ラマン増幅発生媒体内を伝搬する光信号が増幅される現象である。ラマン増幅が発生する波長帯は、ラマン励起光の波長帯に応じて変化することが知られている。具体的に光通信で利用される波長帯域では、ラマン励起光波長から100nm程度長波長側にシフトした波長帯でラマン増幅が発生するものと考えることができる。また、ラマン増幅は、非線形実効断面積の小さな光ファイバ内において発生しやすいという特性を有する。したがって、図1に示した構成では、Cバンド光増幅部2において、励起光源2Cから出力される波長1480nm帯の励起光が供給された伝送路Lの非線形実効断面積の小さなRDF内で、Lバンド(1580nm帯)の光信号に対してラマン増幅が発生することになる。

【0034】次に、第1実施形態の光増幅器の動作につ

10

20

いて説明する。本光増幅器では、Cバンド光増幅部2から分波器1および端子INを介して伝送路Lに漏れ出た1480nm帯の励起光によって、Lバンドの光信号に対し伝送路L内でラマン増幅が発生し、そのラマン増幅されたLバンドの光信号を含んだWDM信号光が、端子INを介して分波器1に入力される。

【0035】分波器1では、入力されたWDM信号光が各バンドごとに分波され、Cバンドの光信号はCバンド光増幅部2に送られ、Lバンドの光信号はLバンド光増幅部3に送られる。Cバンド光増幅部2では、分波器1からの光信号がEDF2Aに送られる。このEDF2Aには、励起光源2Cからの励起光がWDMカプラ2Bを介して供給されていて励起状態となっている。そして、Cバンドの光信号がEDF2A内を伝搬することで誘導放出により所要のレベルまで増幅される。増幅されたCバンドの光信号は、WDMカプラ2Bおよび光アイソレータ2Dを介して合波器4に送られる。

【0036】Lバンド光増幅部3では、分波器1から送られてくるラマン増幅されたLバンドの光信号が、光アイソレータ3AおよびWDMカプラ3Bを介してEDF3Cに送られる。EDF3Cには、励起光源3Dからの波長1480nm帯の励起光がWDMカプラ3Bを介して供給されていて励起状態となっている。そして、Lバンドの光信号がEDF3C内を伝搬することで誘導放出により所要のレベルまで増幅される。

【0037】Cバンド光増幅部2およびLバンド光増幅部3でそれぞれ増幅された各バンドの光信号は、合波器4に送られて合波された後に、端子OUTを介して本光増幅器の外部に出力される。

【0038】上記のように第1実施形態では、Cバンド光増幅部2においてEDF2Aに供給される1480nm帯の励起光が合波器1および端子INを介して外部の伝送路Lに漏れ出る構成として、EDF2Aへの励起光の一部を利用し伝送路Lでラマン増幅を発生するようにしたことで、本光増幅器に入力されるWDM信号光に含まれるLバンドの光信号レベルが増大するため、Lバンド光増幅部3から出力されるLバンドの光信号の光SN比を改善することができる。これにより、従来、Cバンドに比べてLバンドのほうが劣化していた光SN比を、ラマン増幅を利用してほぼ同等の特性となるようになることが可能になる。

【0039】次に、本発明の第2実施形態について説明する。図4は、第2実施形態にかかる光増幅器の基本構成を示す図である。ただし、第1実施形態の構成と同じ部分には同一の符号が付してあり、以下同様とする。

【0040】図4において、本光増幅器は、外部の伝送路Lから端子INを介して入力されるWDM信号光を増幅する前段光増幅部としてのC/Lバンド光増幅部5と、該C/Lバンド光増幅部5で増幅された光信号をCバンドの光信号とLバンドの光信号とに分波する分波器

50

1と、該分波器1で分波されたLバンドの光信号を増幅するLバンド光増幅部3と、分波器1で分波されたCバンドの光信号とLバンド光増幅部3で増幅されたLバンドの光信号を合波し、端子OUTを介して外部の伝送路Lに出力する合波器4とを有する。

【0041】C/Lバンド光増幅部5は、例えば、EDF5A、WDMカプラ5B、励起光源(LD)5Cおよび光アイソレータ5Dを含んで構成される。EDF5Aは、一端が端子INに接続され、他端がWDMカプラ5Bに接続されており、励起光源5Cで発生する励起光がWDMカプラ5Bを介して後方側から供給される。このEDF5Aは、CバンドおよびLバンドの両方に増幅帯域を持つようにその長さ等が最適化されている。具体的には、前述の図3を用いて説明したCバンドの光増幅の場合と同様にして、EDF5Aの長手方向の平均の反転分布率が0.55以上となるように長さ等を設定することで、CバンドおよびLバンドの各光信号が増幅されるようになる。ただし、Lバンドの光増幅については、その利得がCバンドの利得に比べて非常に小さく、かつ、利得波長特性も比較的大きな傾きを持った特性となる。励起光源5Cは、EDF5A内のエルビウムを励起することが可能であり、かつ、Lバンドの光信号に対して外部の伝送路L内でラマン増幅を起こさせることができない波長帯(例えば、1480nm帯等)の励起光を発生する一般的な光源である。光アイソレータ5Dは、WDMカプラ5Bから分波器1に向かう方向にのみ光を通過させるものである。

【0042】分波器1、Lバンド光増幅部3および合波器4は、第1実施形態で用いたものと同様であるためここでの説明を省略する。また、本光増幅器に接続される外部の伝送路Lについても、第1実施形態の場合と同様にして、一般的な1.3μm零分散SMFに比べて非線形形実効断面積が小さくラマン増幅を生じやすい光ファイバが、少なくとも光増幅器の端子INに接続する側に使用されているものとし、図2に示したように、2種類の光ファイバを接続した混成伝送路等を用いるのが好ましい。

【0043】次に、第2実施形態の光増幅器の動作について説明する。本光増幅器では、C/Lバンド光増幅部5から端子INを介して伝送路Lに漏れ出した1480nm帯の励起光によって、Lバンドの光信号に対し伝送路L内でラマン増幅が発生し、そのラマン増幅されたLバンドの光信号を含んだWDM信号光が、端子INを介してC/Lバンド光増幅部5に入力される。

【0044】C/Lバンド光増幅部5に入力されたWDM信号光は、CバンドおよびLバンドの各光信号が一括して増幅される。このC/Lバンド光増幅部5の増幅作用により、少なくとも後段の分波器1における挿入損失が補償されるようになる。

【0045】C/Lバンド光増幅部5から出力されたW

DM信号光は、分波器1で各バンドごとに分波され、Lバンドの光信号はLバンド光増幅部3に送られる。Lバンド光増幅部3では、第1実施形態の場合と同様にして、Lバンドの光信号が誘導放出により所要のレベルまで増幅される。そして、分波器1で分波されたCバンドの光信号とLバンド光増幅部3で増幅されたLバンドの光信号とは、合波器4に送られて合波された後に、端子OUTを介して伝送路Lに出力される。

【0046】上記のように第2実施形態では、端子INと分波器1の間にC/Lバンド光増幅部5を設け、かつ、そのC/Lバンド光増幅部5においてEDF5Aに供給される1480nm帯の励起光が端子INを介して外部の伝送路Lに漏れ出る構成として、Lバンドの光信号に対し伝送路Lでラマン増幅を発生させるようにしたことで、本光増幅器に入力されるLバンドの光信号の入力レベルが増大するため、光増幅器全体におけるLバンドの光信号の光SN比を改善することができる。これにより、従来、Cバンドに比べてLバンドのほうが劣化していた光SN比を、ラマン増幅を利用してほぼ同等の特性となるようになることが可能になる。もちろん、従来の場合と同様に、C/Lバンド光増幅部5によって分波器1の挿入損失も補償されるため、分波器1の挿入による雑音指数の劣化を抑える効果もある。

【0047】次に、本発明の第3実施形態について説明する。第3実施形態では、例えば前述した第2実施形態について、波長分散および分散スロープの補償や利得波長特性の補償等を光増幅器内で実施できるようにした場合について考える。

【0048】図5は、第3実施形態にかかる光増幅器の構成例を示す図である。図5において、本光増幅器は、分波器1と合波器4の間の各バンドに対応した光通路上に、補償用光デバイス6C、6Lをそれぞれ設けた構成である。ここでは、Cバンドに対応した補償用光デバイス6Cが、分波器1と合波器4の間に挿入され、Lバンドに対応した補償用光デバイス6Lが、Lバンド光増幅部3と合波器4の間に挿入されている。なお、各補償用光デバイス6Lの挿入位置は、図示しないが分波器1とLバンド光増幅部3の間であっても構わない。

【0049】各々の補償用光デバイス6C、6Lとしては、例えば、本光増幅器に接続される伝送路Lで発生し累積する波長分散および分散スロープを補償するために用いられる分散補償ファイバ(DCF)や、ファイバグレーティングなどの一般的な光パッシブ部品とすることができる。あるいは、C/Lバンド光増幅部5またはLバンド光増幅部3の利得波長特性に対応した損失波長特性を有する公知の利得等化器とすることもできる。分散補償および利得波長特性の補償を同時に実行する場合には、各バンドごとにDCF等と利得等化器を縦続接続すればよい。

【0050】上記のような構成とすることによって、第

2実施形態の場合の作用効果に加えて、波長分散および分散スロープや各波長間の利得偏差が光増幅器内で補償されるようになり、WDM信号光の伝送特性を向上させることができが可能になる。

【0051】なお、上記の第3実施形態では、各バンドごとに補償用光デバイスを設ける構成としたが、例えば図6に示すように、CバンドおよびLバンドについての補償をまとめて行うことが可能な補償用光デバイス6Cを、合波器4と端子OUTの間にも設けるようにして構わない。

【0052】次に、本発明の第4実施形態について説明する。第4実施形態では、例えば前述した第2実施形態について、光増幅器の出力を一定に制御する自動レベル制御(ALC)および光増幅器における利得を一定に制御する自動利得制御(AGC)を実施する場合について考える。

【0053】図7は、第4実施形態にかかる光増幅器の構成例を示す図である。図7において、本光増幅器は、Lバンド光増幅部3に対してAGC回路30を設け、C/Lバンド光増幅部5に対してALC回路50を設けた構成である。

【0054】AGC回路30は、Lバンド光増幅部3に入力されるLバンドの光信号の一部を光カプラ30Aで分岐し受光器30Bで光電変換した信号と、Lバンド光増幅部3から出力される光信号の一部を光カプラ30Cで分岐し受光器30Dで光電変換した信号とを用いて、Lバンド光増幅部3における利得を演算し、該利得が一定となるように増幅動作を制御する制御信号をLバンド光増幅部3に出力する。AGC回路30からの制御信号を受けたLバンド光増幅部3では、例えば励起光源3Dの注入電流等が制御信号に従って調整される。

【0055】ALC回路50は、合波器4から出力されるWDM信号光の一部を光カプラ50Aで分岐し受光器50Bで光電変換した信号と、予め設定した基準信号とを比較して、本光増幅器から出力されるWDM信号光レベルが一定となるように増幅動作を制御する制御信号をC/Lバンド光増幅部5に出力する。ALC回路50からの制御信号を受けたC/Lバンド光増幅部5では、例えば励起光源5Cの注入電流等が制御信号に従って調整される。

【0056】上記のように第4実施形態によれば、第2実施形態の場合の効果に加えて、Lバンド光増幅部3をAGC動作させることで、Lバンドの入力光レベルが変化した場合でも利得波長特性の変動が抑えられ、安定した光増幅を行うことができる。また、出力光レベルをモニタしてC/Lバンド光増幅部5をALC動作させることで、本光増幅器への入力光レベルが変化した場合でも、一定のレベルのWDM信号光を出力することができ、WDM信号光の安定した増幅中継伝送が可能になる。

【0057】なお、上記第4実施形態では、AGCとALCを同時に実施する場合を示したが、一方の制御だけを適用するようにしてもよい。また、第1、第3実施形態についても同様にして、AGC、ALCを実施することが可能である。第1実施形態に対してALCを適用する場合には、ALC回路の制御信号に従ってCバンド光増幅部2およびLバンド光増幅部3の各増幅動作を調整するようにすればよい。

【0058】次に、本発明の第5実施形態について説明する。上述してきた第1～第4実施形態は、EDFに供給する1480nm帯の励起光の一部を利用してLバンドの光信号に対しラマン増幅を発生させることによって、Lバンドについての光SN比の改善を図るものであった。第5実施形態では、CバンドおよびLバンドの光信号を一括して増幅する従来の光増幅器について、構成の簡略化という観点から改良を加えた技術を説明する。

【0059】図8は、第5実施形態にかかる光増幅器の基本構成を示すブロック図である。図8において、本光増幅器は、上述の図24に示した従来の構成について、Cバンド光増幅部を省略し、その機能を前段のC/Lバンド光増幅部5'に備えさせると共に、Cバンドの光信号パワーとLバンドの光信号パワーとのバランスを制御する光パワー偏差制御手段としてのC/L比制御部7を備えた構成である。C/Lバンド光増幅部5'から出力されるWDM信号光をCバンドとLバンドに分波する分波器1、後段光増幅手段に相当するLバンド光増幅部3、分波されたCバンドの光信号およびLバンド光増幅部3で増幅されたLバンドの光信号を合波する合波器4は、上述の第1実施形態等で用いたものと同様である。

【0060】前段光増幅手段に相当するC/Lバンド光増幅部5'は、例えば、光アイソレータ5E、WDMカプラ5F、EDF5Gおよび励起光源(LD)5Hを含んで構成される。

【0061】光アイソレータ5Eは、端子INからWDMカプラ5Fに向かう方向にのみ光を通過させるものである。WDMカプラ5Fは、光アイソレータ5Eを通過したWDM信号光を、励起光源5Hからの励起光と合波してEDF5Gに前方側から供給する。EDF5Gは、上述の第2実施形態(図4)で用いたEDF5Aと同様にして、CバンドおよびLバンドの両方に増幅帯域を持つようにその長さ等が最適化されている。励起光源5Hは、EDF5G内のエルビウムを励起することが可能な波長帯(例えば、980nm帯や1480nm帯等)の励起光を発生する一般的な光源である。なお、ここでは前方励起型の構成としたが、後方励起型または双方向励起型の構成としてもよい。

【0062】C/L比制御部7は、分波器1から出力されるCバンドの光信号の一部を光カプラ7Aで分岐し受光器(PD)7Bで光電変換した信号と、Lバンド光増幅部3から出力される光信号の一部を光カプラ7Cで分

岐し受光器7Dで光電変換した信号とに基づいて、Lバンド光増幅部3の増幅動作を制御する制御信号を出力する。ここでは、光カプラ7Aおよび受光器7Bが第1パワーモニタ手段に相当し、光カプラ7Cおよび受光器7Dが第2パワーモニタ手段に相当する。

【0063】上記のような構成の光増幅器では、端子INを介して入力されたWDM信号光は、C/Lバンド光増幅部5'に送られて、CバンドおよびLバンドの各光信号が一括して増幅される。このC/Lバンド光増幅部5'の増幅作用により、Cバンドの光信号は所要の出力レベル以上に増幅される。また、Lバンドの光信号については、少なくとも後段の分波器1における挿入損失が補償される。

【0064】C/Lバンド光増幅部5'から出力されたWDM信号光は、分波器1で各バンドごとに分波され、Lバンドの光信号はLバンド光増幅部3に送られる。Lバンド光増幅部3では、Lバンドの光信号が誘導放出により所要のレベルまで増幅される。

【0065】そして、分波器1で分波されたCバンドの光信号と、Lバンド光増幅部3から出力されるLバンドの光信号とは、それぞれ光カプラ7A、7Cを通過して合波器4で合波され端子OUTから出力されると共に、それらの光信号の一部が、光カプラ7A、7Cで分岐された後に受光器7B、7Dを介してC/L比制御部7に送られる。C/L比制御部7では、各受光器7B、7Dからの信号に基づいて、Cバンドの光信号パワーとLバンドの光信号パワーとが予め設定された比率となるように、Lバンド光増幅部3の増幅動作を制御する制御信号を出力する。具体的には、例えば、Cバンドについて32チャネルの光信号が使用され、Lバンドについては16チャネルの光信号が使用されるような状況の場合（各チャネルの光パワーは等しいものとする）には、Cバンドの光信号パワーとLバンドの光信号パワーとの比が2:1で一定となるように、Lバンド光増幅部3の増幅動作を制御する制御信号が生成される。C/L比制御部7からの制御信号を受けたLバンド光増幅部3では、例えば励起光源3Dの注入電流等が制御信号に従って調整される。

【0066】上記のように第5実施形態によれば、入力段に設けたC/Lバンド光増幅部5'において、Cバンドの光信号を十分なレベルまで増幅し、Lバンドの光信号について不足する利得分に限って後段のLバンド光増幅部3で増幅するような構成としたことで、従来の光増幅器に比べて構成の簡略化を図ることができる。これは、例えば本光増幅器が海底中継器として用いられる場合など、実装スペースや消費電力に制約のあるときは、励起光源等の部品点数を削減できるため、特に有用である。ただし、本発明による光増幅器は上記の用途に限定されるものではない。また、CバンドおよびLバンドの光パワーのバランスを制御可能としたことで、各バ

ンドの光増幅をより安定に行うことができると共に、例えば各バンドにおける使用チャネルの変更等にも柔軟に対応することができる。

【0067】なお、上記の第5実施形態では、CバンドおよびLバンドの光パワーについてバランス制御を行う構成としたが、そのような制御の必要性がないシステム構成では、C/L比制御部7並びに光カプラ7A、7Cおよび受光器7B、7Dを省略してもよい。

【0068】次に、本発明の第6実施形態について説明する。第6実施形態では、上記の第5実施形態について、波長分散および分散スロープの補償や利得波長特性の補償を光増幅器内で実施できるようにした場合について考える。

【0069】図9は、第6実施形態にかかる光増幅器の構成例を示す図である。図9において、本光増幅器は、前述した第3実施形態の場合と同様にして、分波器1と合波器4の間の各バンドに対応した光通路上に、補償用光デバイス6C、6Lをそれぞれ設けた構成である。ここでは、Cバンドに対応した補償用光デバイス6Cが、分波器1と光カプラ7Aの間に挿入され、Lバンドに対応した補償用光デバイス6Lが、Lバンド光増幅部3と光カプラ7Cの間に挿入されている。各々の補償用光デバイス6C、6Lとしては、例えば、分散補償ファイバ（DCF）、ファイバグレーティングなどの一般的な光パッシブ部品、あるいは、公知の利得等化器等とすることができます。なお、各補償用光デバイス6C、6Lの挿入場所は、上記の位置に限られるものではなく、分波器1と合波器4の間の各光通路上の任意の位置とすることが可能である。

【0070】このように第6実施形態によれば、第5実施形態の場合の作用効果に加えて、波長分散および分散スロープや各波長間の利得偏差が光増幅器内で補償されるようになり、WDM信号光の伝送特性を向上させることができることになる。

【0071】なお、上記の第6実施形態では、各バンドごとに補償用光デバイスを設ける構成としたが、例えば図10に示すように、CバンドおよびLバンドについての補償をまとめて行うことが可能な補償用光デバイス6CLを、合波器4と端子OUTの間にも設けるようにしても構わない。

【0072】次に、本発明の第7実施形態について説明する。第7実施形態では、前述した第5実施形態について、光増幅器の出力を一定に制御する自動レベル制御（ALC）および光増幅器における利得を一定に制御する自動利得制御（AGC）を実施する場合について考える。

【0073】図11は、第7実施形態にかかる光増幅器の構成例を示す図である。図11において、本光増幅器は、C/Lバンド光増幅部5'に対してALC回路50およびAGC回路51を設けた構成である。ALC回路

50は、第4実施形態の場合と同様に、合波器4から出力されるWDM信号光の一部を光カプラ50Aで分岐し受光器50Bで光電変換した信号と予め設定した基準信号とを比較して、光増幅器から出力されるWDM信号光レベルが一定となるように増幅動作を制御する制御信号をC/Lバンド光増幅部5'に出力する。

【0074】AGC回路51は、C/Lバンド光増幅部5'に入力されるWDM信号光の一部を光カプラ51Aで分岐し受光器51Bで光電変換した信号と、上記ALCで用いた出力光のモニタ信号（光カプラ50Aおよび受光器50Bを介した信号）とを用いて、光増幅器全体における利得を演算し、該利得が一定となるように増幅動作を制御する制御信号をC/Lバンド光増幅部5'に出力する。

【0075】ALC回路50およびAGC回路30からの各制御信号を受けたC/Lバンド光増幅部5'では、例えは励起光源5Cの駆動状態等が各々の制御信号に従つて調整される。

【0076】上記のように第7実施形態によれば、第5実施形態の場合の作用効果に加えて、ALCおよびAGCの制御下で、C/Lバンド光増幅部5'を動作させることによって、入力光レベルが変化した場合でも、一定のレベルのWDM信号光を出力することができると共に、利得波長特性の変動を抑えることができ、WDM信号光の増幅を安定して行うことが可能になる。

【0077】なお、上記の第7実施形態では、AGCとALCを同時に実施する場合を示したが、一方の制御だけを適用するようにしてもよい。また、C/Lバンド光増幅部5'をAGC動作させる構成としたが、Lバンド光増幅部3をAGC動作させるようにしてもよい。具体的には、図12に示すように、Lバンド光増幅部3に対してAGC回路30を設け、Lバンド光増幅部3に入力されるLバンドの光信号の一部を光カプラ30Aで分岐し受光器30Bで光電変換した信号と、C/L比制御で用いたLバンドのモニタ信号（光カプラ7Cおよび受光器7Dを介した信号）とを用いて、Lバンド光増幅部3における利得を演算し、該利得が一定となるように増幅動作を制御する制御信号をAGC回路30からLバンド光増幅部3に送るようにする。さらに、上記の図11若しくは図12の構成は、第6実施形態についても適用可能である。

【0078】次に、本発明の第8実施形態について説明する。第8実施形態では、ラマン増幅を利用した第1～第4実施形態と、構成の簡略化および各バンドのバランス制御を可能した第5～第7実施形態とを組み合わせた場合について説明する。

【0079】図13は、第8実施形態にかかる光増幅器の基本構成を示すブロック図である。図13に示すように、本光増幅器は、上述の図4に示した第2実施形態の構成について、Cバンド光増幅部2を省略し、その機能

を前段のC/Lバンド光増幅部5に備えさせると共に、第5実施形態の場合と同様にして、C/L比制御部7、光カプラ7A、7Cおよび受光器7B、7Dを設け、CバンドおよびLバンドの光パワーについてバランス制御を行うようにしたものである。

【0080】C/Lバンド光増幅部5の構成は、第2実施形態の場合と同様であって、EDF5Aに後方側から供給される1480nm帯の励起光の一部が端子INを介して伝送路Lに漏れ出る構成である。光増幅器に接続される伝送路Lは、1.3μm零分散SMFに比べて非線形実効断面積が小さくラマン増幅を生じやすい光ファイバが、少なくとも光増幅器の端子INに接続する側に使用されているものとする。

【0081】上記のような構成の光増幅器では、C/Lバンド光増幅部5から伝送路Lに漏れ出た1480nm帯の励起光によって、Lバンドの光信号に対し伝送路L内でラマン増幅が発生し、そのラマン増幅されたLバンドの光信号を含んだWDM信号光が、端子INを介してC/Lバンド光増幅部5に入力されて、CバンドおよびLバンドの各光信号が誘導放出により一括して増幅される。

【0082】C/Lバンド光増幅部5から出力されたWDM信号光は、分波器1で各バンドごとに分波され、Lバンドの光信号はLバンド光増幅部3に送られて誘導放出により所要のレベルまで増幅される。そして、分波器1で分波されたCバンドの光信号およびLバンド光増幅部3から出力されたLバンドの光信号は、合波器4で合波され端子OUTを介して伝送路Lに出力されるとともに、それらの光信号の一部が、光カプラ7A、7Cおよび受光器7B、7Dをそれぞれ介してC/L比制御部7に送られ、CバンドおよびLバンドのバランス制御が実施される。

【0083】このように第8実施形態によれば、1480nm帯の励起光が伝送路Lに漏れ出る構成のC/Lバンド光増幅部5を用い、該C/Lバンド光増幅部5においてCバンドの光信号を十分なレベルまで増幅し、Lバンドの光信号について不足する利得分に限って後段のLバンド光増幅部3で増幅するような構成としたことで、伝送路Lでのラマン増幅によってLバンドの光信号についての光SN比の改善を図った光増幅器を簡略な構成により実現することができる。これにより、広帯域のWDM信号光を優れた特性で一括して増幅できる低消費電力の光増幅器が提供可能になる。また、CバンドおよびLバンドのバランス制御を可能としたことで、各バンドの光増幅をより安定に行うことができ、使用チャネルの変更等にも柔軟に対応することができる。

【0084】なお、第6実施形態の場合と同様にして、図示しないが各バンドに対応した補償用光デバイスをそれぞれ設けて、波長分散および分散スロープの補償や利得波長特性の補償を光増幅器内で実施するようにしても

よい。

【0085】さらに、第7実施形態の場合のように、ALCおよびAGCを実施するときには、上述の図12に示したような構成とすればよい。なお、図11に示したようにC/Lバンド光増幅部をAGC動作させる構成は、入力レベルをモニタするためにC/Lバンド光増幅部の前段に光カプラを挿入する必要があり、該光カプラによってC/Lバンド光増幅部から伝送路に向かう励起光が減衰されてしまうため、第8実施形態への適用は困難な場合がある。

【0086】次に、上記の第8実施形態について、上り回線および下り回線に対応した更に具体的な構成例を以下に列挙する。なお、上り回線に対応する下り回線の構成要素には同一の符号が付してある。

【0087】図14に示す光増幅器の構成例(1)は、前述の図14に示した基本構成について、各バンドに対応した補償用光デバイス(ここでは、例えば利得等化器とする)6C, 6Lを設けると共に、C/Lバンド光増幅部5をALC動作させる構成とし、それらを上り回線および下り回線に各々対応させたものである。なお、Lバンド光増幅部3の励起波長は、980nm帯および1480nm帯のいずれかを選択でき、980nm帯とした場合には低雑音化および低消費電力化を図ることが可能となり、1480nm帯とした場合には高出力化を図ることが可能となる。

【0088】上記のような構成では、上下回線で4台という少ない励起光源でCバンドおよびLバンドの光増幅を実現でき、ラマン増幅によるLバンドの光SN比の改善効果も得られる。また、ALC動作により一定のレベルのWDM信号光を出力することができ、CバンドおよびLバンドの光パワーのバランス制御も可能である。さらに、上りおよび下り回線が独立して個別に制御可能であるという利点も有する。

【0089】図15に示す光増幅器の構成例(2)は、Lバンド光増幅部を双方向励起型の構成として励起効率の向上を図ったものである。ここでは、上下回線それぞれについて、励起光源3Dから出力される980nm帯の励起光を光カプラ3Bを介してEDF3Cに前方側から供給し、また、上下回線で共用化した励起光源3Hから出力される1480nm帯の励起光を光カプラ3G, 3Fを介してEDF3Cに後方側から供給するものとする。

【0090】上記のような構成では、上記の図14に示した構成例(1)に対して1480nm帯の励起光源を1台追加することで、上りおよび下りの各回線について、励起効率の優れたLバンドの光増幅が実現可能となる。その他の作用効果は、構成例(1)の場合と同様である。

【0091】なお、上記の例では、Lバンド光増幅部の後方励起光源を上下回線で共用化する構成としたが、こ

れ以外にも、例えば図16に示すように、上り回線および下り回線ごとに、C/Lバンド光増幅部とLバンド光増幅部との間で1480nm帯の励起光源5Cを共用化することも可能である。

【0092】図17に示す光増幅器の構成例(3)は、C/Lバンド光増幅部に前方励起光を供給して双方向励起型の構成とすることで、雑音指数の改善を図ったものである。ここでは、上下回線それぞれについて、励起光源3Dから出力される980nm帯の励起光を光カプラ

10 3Hで2分岐して、分岐された各励起光を光カプラ5Iおよび3Bを介してEDF5Aおよび3Cに前方側から供給するものとする。なお、光カプラ3Hの分岐比は、Lバンド光増幅部に供給される励起光パワーがC/Lバンド光増幅部に供給される励起光パワーよりも大きくなるように設定されている。

【0093】上記のような構成では、Lバンドの光増幅に用いていた励起光の一部をC/Lバンドの光増幅の前方励起光として利用するようにしたことで、励起光源の数を増やすことなくC/Lバンド光増幅部の雑音指数を改善させることが可能になる。その他の作用効果は、構成例(1)の場合と同様である。

【0094】なお、Lバンドの光増幅に1480nm帯の励起光を用いる場合には、例えば図18に示すように、C/Lバンド光増幅部の前方励起用として別個に980nm帯の励起光源5Jを設けるようにしても構わない。

【0095】図19に示す光増幅器の構成例(4)は、上記の図15に示した構成例(2)と、図17に示した構成例(3)とを組み合わせたものである。このような構成により、Lバンド光増幅部の励起効率の向上およびC/Lバンド光増幅部の雑音指数の改善を図ることができる。

【0096】図20に示す光増幅器の構成例(5)は、例えば、上記の図18に示した構成例について、C/Lバンド光増幅部の前方励起光源を冗長構成としたものである。ここでは、上りおよび下りの各C/Lバンド光増幅部で用いられる前方励起光が、通常運用時、980nm帯の常用励起光源5Jから光カプラ5Kを介して供給され、常用励起光源5Jに異常が発生した場合には、980nm帯の待機用励起光源5J'に切り替わるものとする。

【0097】上記のような構成では、C/Lバンド光増幅部の励起光源の1つが上りおよび下り回線で冗長されるので、フェールセーフな光増幅器の構成を実現することが可能である。その他の作用効果は、構成例(3)の場合と同様である。

【0098】図21に示す光増幅器の構成例(6)は、上記の図16に示した構成例と、図20に示した構成例とを組み合わせ、さらに、励起光源数の削減を図ったものである。具体的には、上下回線ごとに、C/Lバンド

21

光増幅部の後方励起光源とLバンド光増幅部の後方励起光源とを共用化すると共に、上下回線で共用化した冗長構成の励起光源5J, 5J'から出力される980nm帯の励起光を、光カプラ5K, 5Lを介してC/Lバンド光増幅部およびLバンド光増幅部にそれぞれ前方側から供給するようにした構成である。

【0099】上記のような構成では、上下回線について4台という少ない励起光源により、C/Lバンド光増幅部およびLバンド光増幅部をそれぞれ双方向励起することが可能になり、また、各々の前方励起光源が上下回線で冗長されるので、フェールセーフな光増幅器の構成を実現することが可能である。

【0100】なお、図21には、CバンドおよびLバンドの光パワーのバランスを制御するC/L比制御部7等の構成が省略されているが、バランス制御の必要性に応じて適宜にC/L比制御部7等を設けても構わない。

【0101】また、上述した各構成例(1)～(6)は、第8実施形態についての具体的な構成の一例であるが、本発明はこれらの構成例に限定されるものではない。さらに、各構成例ではAGCが実施されていないが、上下回線の各Lバンド光増幅部をAGC動作させる構成としても構わない。加えて、第8実施形態以外の他の実施形態についての具体的な構成例は、上述した各構成例(1)～(6)等に基づいて容易に実現することができるるので、ここでの説明を省略する。

【0102】ここで、光送信端局などから中継局に監視制御信号が伝達されるようなWDM光中継伝送システムについて、上述した第1～第8実施形態に示したような各光増幅器が適用される場合の構成について説明する。

【0103】図22は、監視制御信号の処理機能を備えた光増幅器の概略構成を示すブロック図である。図22に示すように、監視制御信号の処理機能は、例えば、C/Lバンド光増幅部5と分波器1の間に設けられた光カプラ8Aと、該光カプラ8Aで分岐された信号光を電気信号に変換する受光器(PD)8Bと、該受光器8Bからの信号を基に、光送信端局側から中継局(光増幅器)へ送られる監視信号(SVコマンド信号)を検波し、かつ、中継局から光受信端局側に送る応答信号(SVレスポンス信号)に対応した変調信号を励起光源5Cに送る監視制御処理部8とによって実現される。ここで監視信号および応答信号は、WDM信号光が低周波で重疊変調されることにより伝達されるものとする。

【0104】監視制御処理部8は、検波した監視信号を基にWDM信号光の伝送状況に関する情報(例えば使用チャネルの番号やチャネル数等)を識別して光増幅器内の各部に伝達する。また、識別した情報や自局の動作状況などを示す応答信号に応じた変調信号を生成する。この変調信号に従って励起光源5Cが変調されることで、応答信号がWDM信号光に重疊されるようになる。

【0105】このように、光増幅器が監視制御信号を処理する機能を備えることで、WDM信号光の伝送状況に応じた光増幅を行うことが可能になる。

## 【0106】

【発明の効果】以上説明したように、本発明の光増幅器の1つの態様によれば、光増幅手段で用いられる励起光の一部を利用して、第2波長帯域の光信号をラマン増幅することによって、光増幅手段に入力される第2波長帯域の光信号のレベルが増大するため、第2波長帯域についての光SN比が改善されて、各波長帯域間の相対光SN比偏差が小さい光信号を得ることができる。

【0107】また、本発明の光増幅器の他の態様によれば、前段光増幅部手段および後段光増幅手段を設け、前段光増幅部手段において第1波長帯域の光信号を十分なレベルまで増幅し、第2波長帯域の光信号について不足する利得分に限って後段光増幅手段で増幅する構成としたことで、従来の光増幅器に比べて簡略化な構成となり、実装スペースの削減および低消費電力化を実現することができる。また、第1および第2波長帯域の光パワーのバランス制御を行うようにしたことで、各波長帯域の光増幅をより安定に行うことができ、使用チャネルの変更等にも柔軟に対応することができる。

## 【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の第1実施形態にかかる光増幅器の基本構成を示すブロック図である。

【図2】一般的なEDFの単位長さあたりの利得に関する波長特性を各反転分布率について示した図である。

【図3】本発明の第2実施形態にかかる光増幅器の基本構成を示すブロック図である。

【図4】同上第2実施形態で適用される伝送路の一例を示す図である。

【図5】本発明の第3実施形態にかかる光増幅器の構成を示すブロック図である。

【図6】同上第3実施形態に関連する他の構成例を示す図である。

【図7】本発明の第4実施形態にかかる光増幅器の構成を示すブロック図である。

【図8】本発明の第5実施形態にかかる光増幅器の基本構成を示すブロック図である。

【図9】本発明の第6実施形態にかかる光増幅器の構成を示すブロック図である。

【図10】同上第6実施形態に関連する他の構成例を示す図である。

【図11】本発明の第7実施形態にかかる光増幅器の構成を示すブロック図である。

【図12】同上第7実施形態に関連する他の構成例を示す図である。

【図13】本発明の第8実施形態にかかる光増幅器の基本構成を示すブロック図である。

【図14】同上第8実施形態の具体的な構成例(1)を示す図である。

【図 15】同上第 8 実施形態の具体的な構成例（2）を示す図である。

【図 16】同上第 8 実施形態の構成例（2）に関連する変形例を示す図である。

【図 17】同上第 8 実施形態の具体的な構成例（3）を示す図である。

【図 18】同上第 8 実施形態の構成例（3）に関連する変形例を示す図である。

【図 19】同上第 8 実施形態の具体的な構成例（4）を示す図である。

【図 20】同上第 8 実施形態の具体的な構成例（5）を示す図である。

【図 21】同上第 8 実施形態の具体的な構成例（6）を示す図である。

【図 22】本発明の各実施形態において監視制御信号の処理機能を具備した概略構成を示すブロック図である。

【図 23】従来の C/L バンド光増幅器の構成を示すブロック図である。

【図 24】分波器の挿入損失を従来の C/L バンド光増幅器の構成を示すブロック図である。

幅器の構成を示すブロック図である。

【符号の説明】

1 … 分波器

2 … C バンド光増幅部

3 … L バンド光増幅部

4 … 合波器

5 … C/L バンド光増幅部

2A, 3C, 5A, 5G … エルビウムドープファイバ (EDF)

10 2B, 3B, 5B, 5F … WDM カプラ

2C, 3D, 5C, 5H … 励起光源 (LD)

2D, 3A, 5D, 5E … 光アイソレータ

6C, 6L, 6CL … 補償用光デバイス

7 … C/L 比制御部

8 … 監視制御処理部

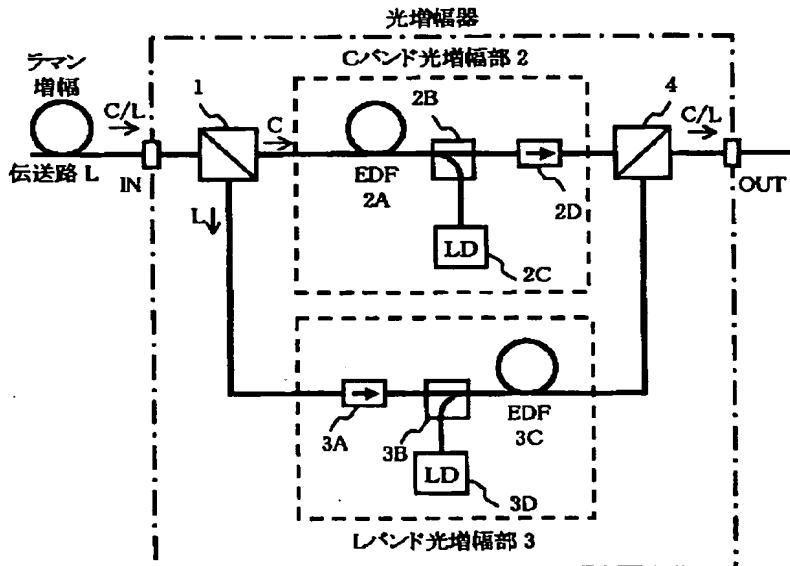
30, 51 … AGC 回路

50 … ALC 回路

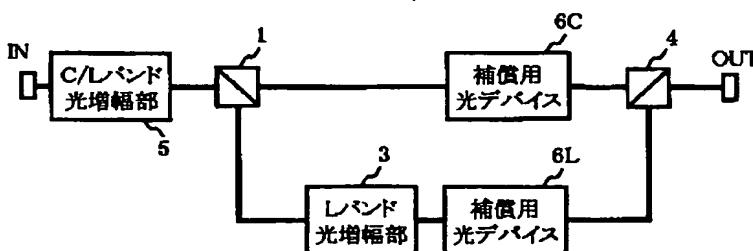
L … 伝送路

IN, OUT … 端子

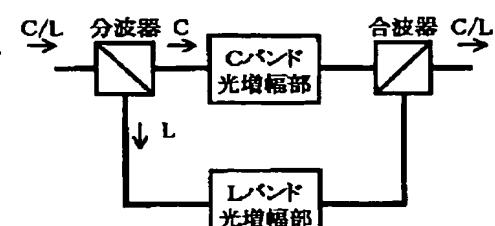
【図 1】



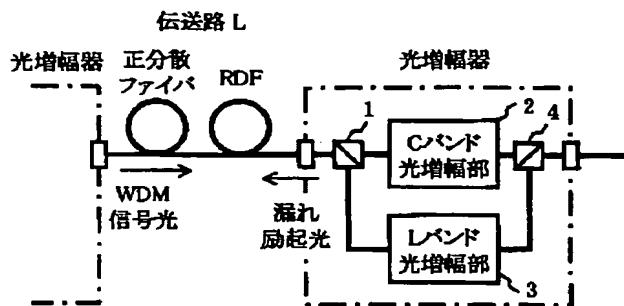
【図 5】



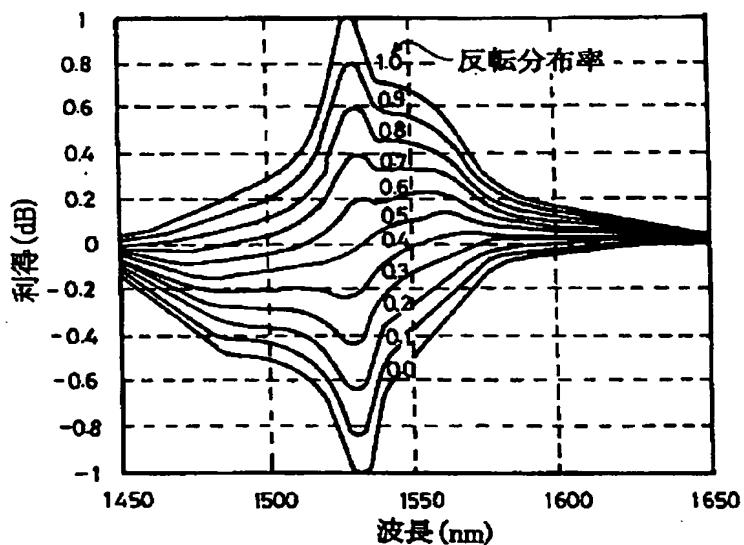
【図 23】



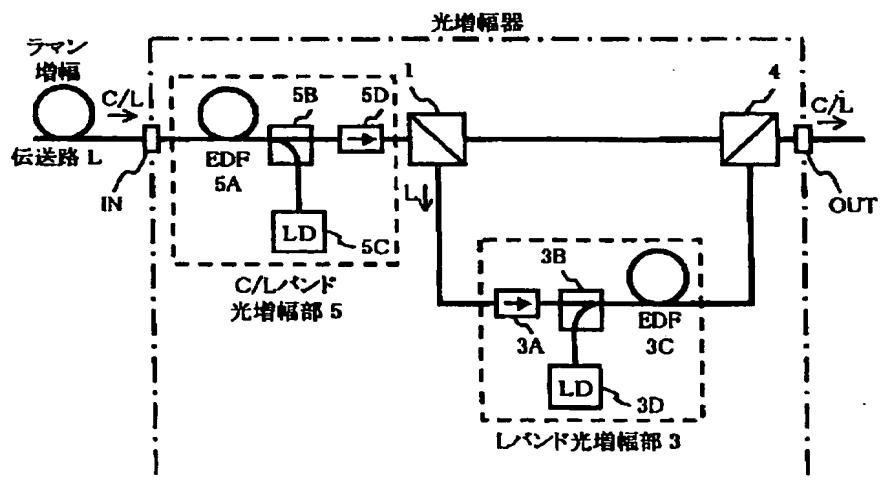
【図 2】



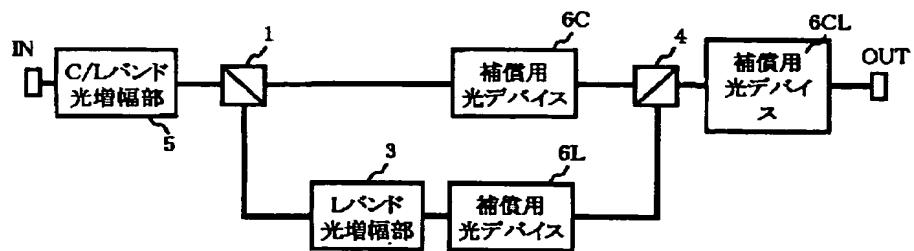
【図 3】



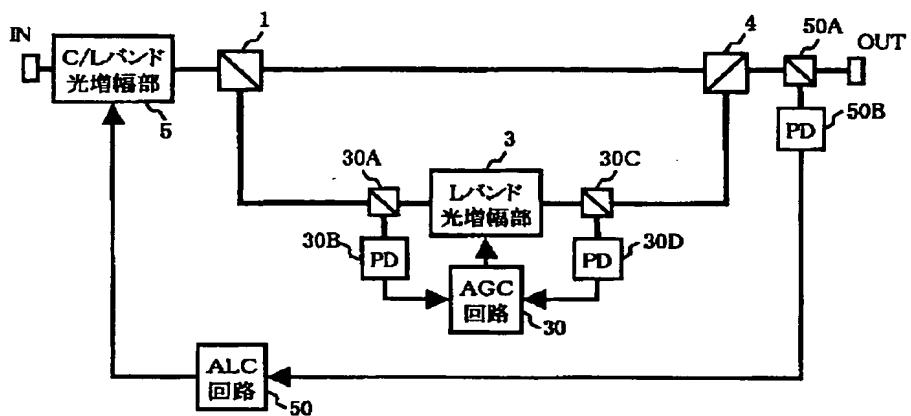
【図 4】



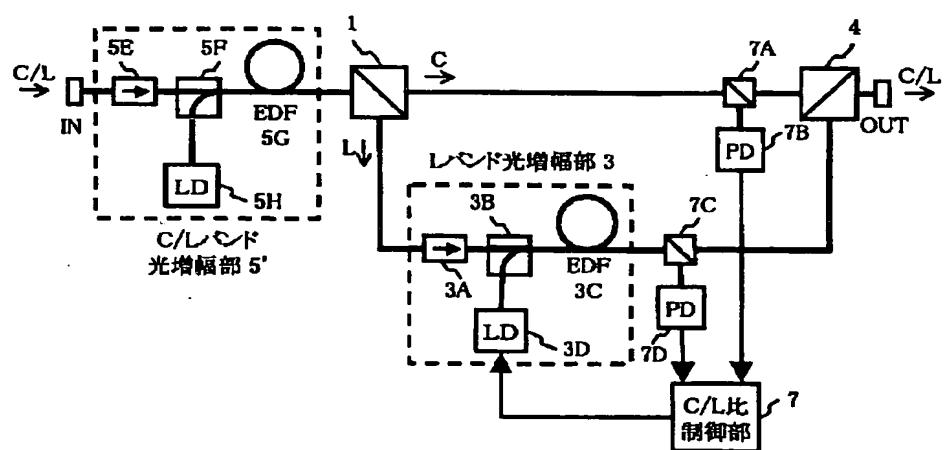
【図 6】



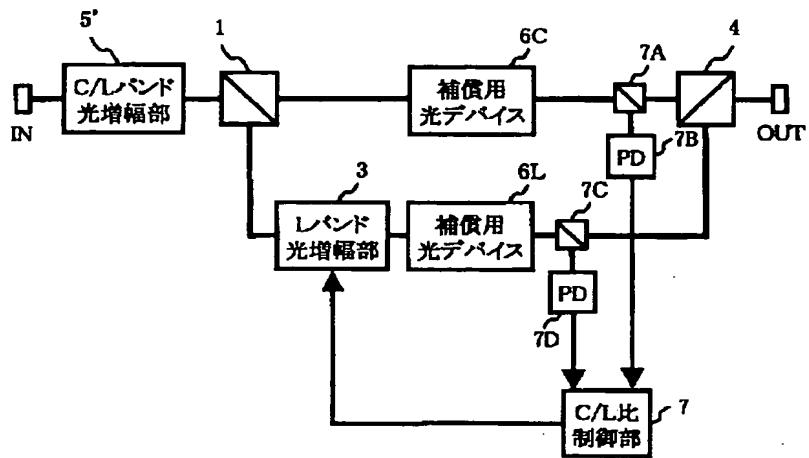
【図 7】



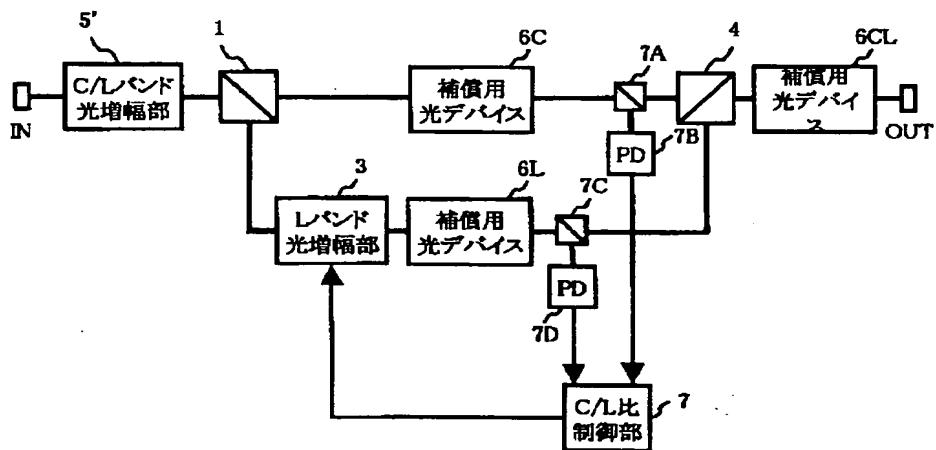
【図 8】



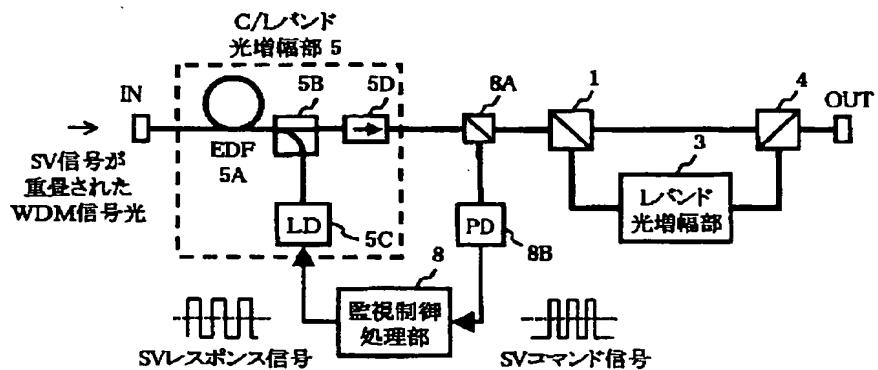
【図 9】



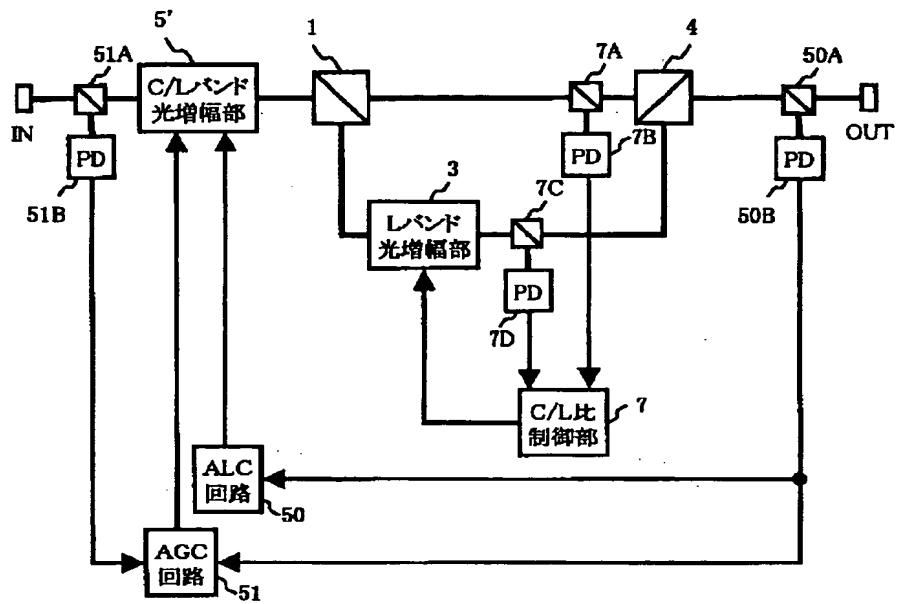
【図 10】



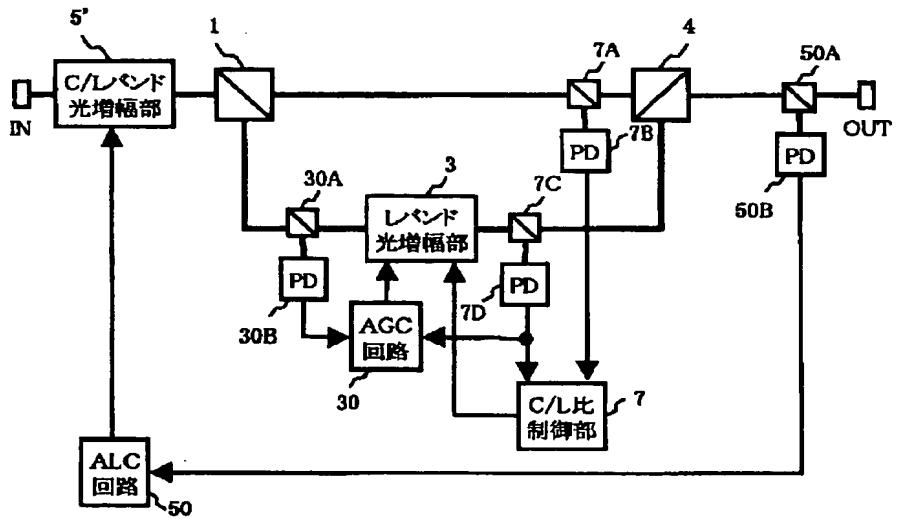
【図 22】



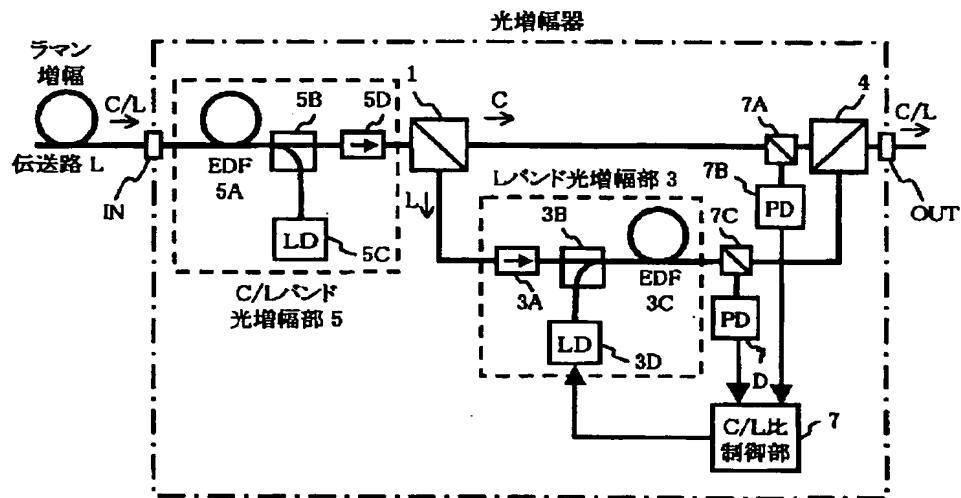
【図 1 1】



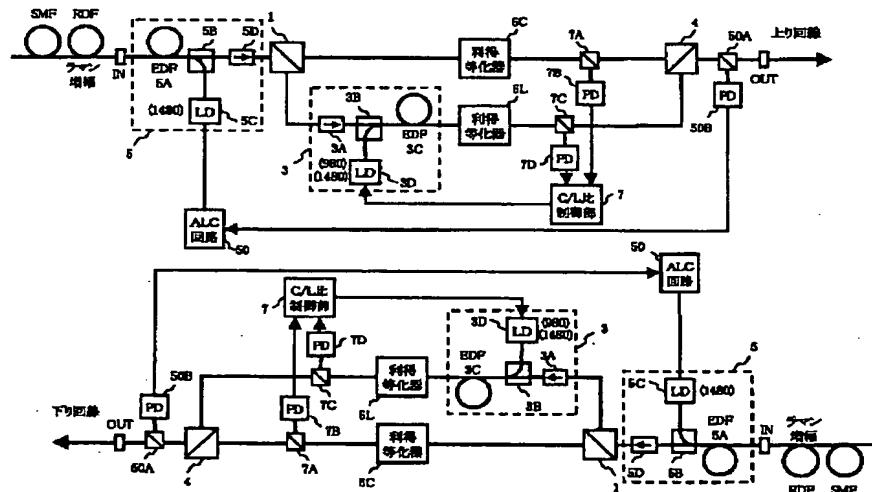
【図 1 2】



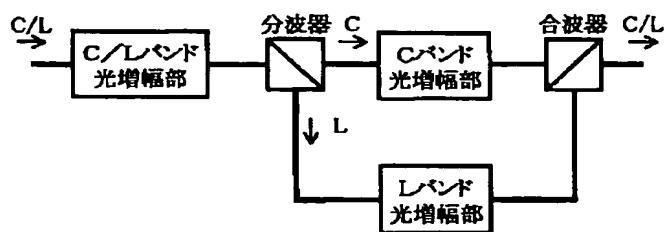
[图 13]



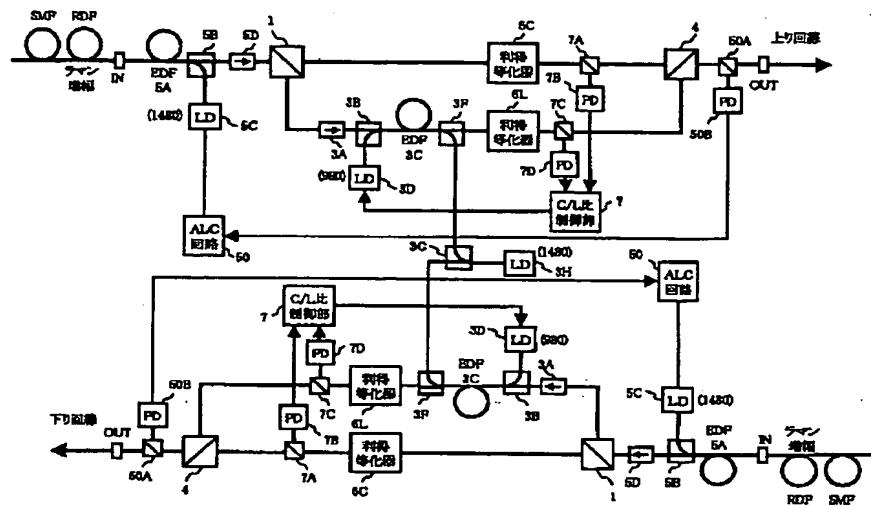
【図14】



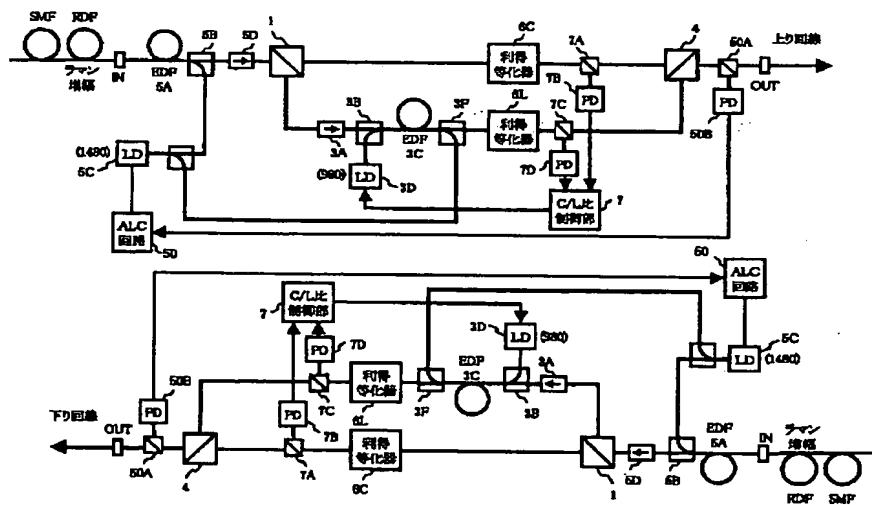
[図24]



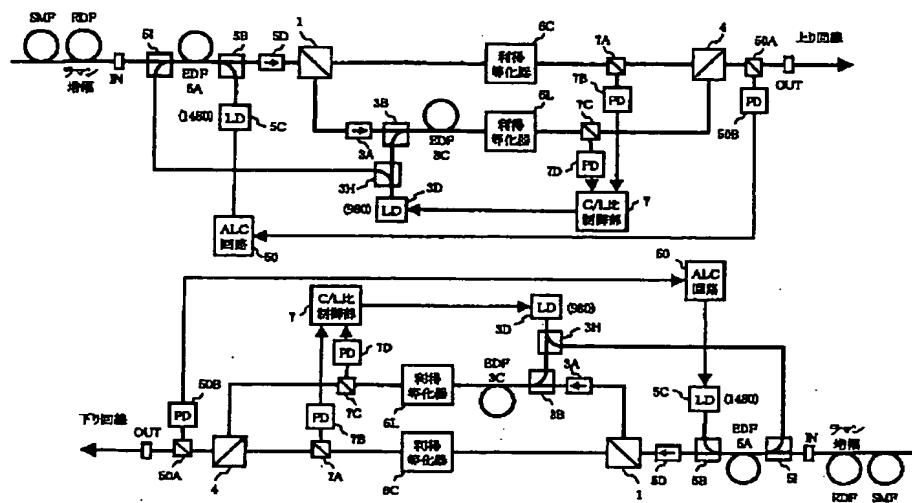
【図 15】



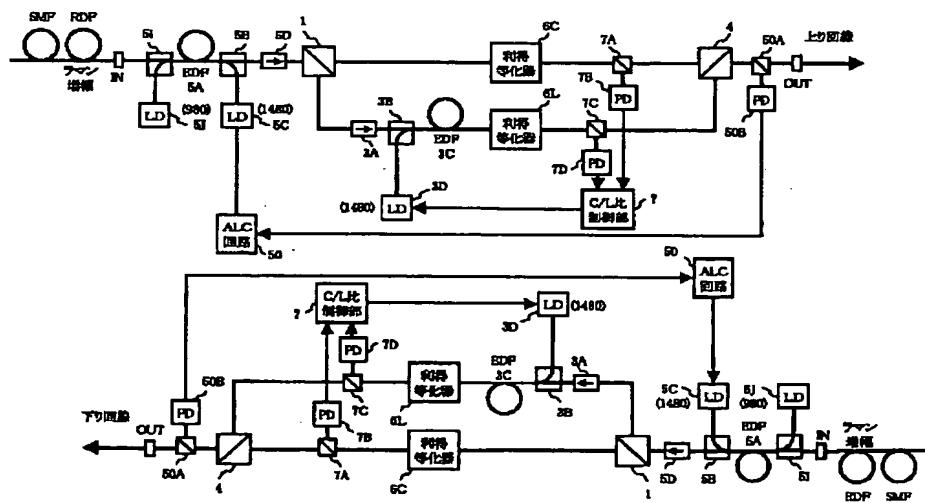
【図 16】



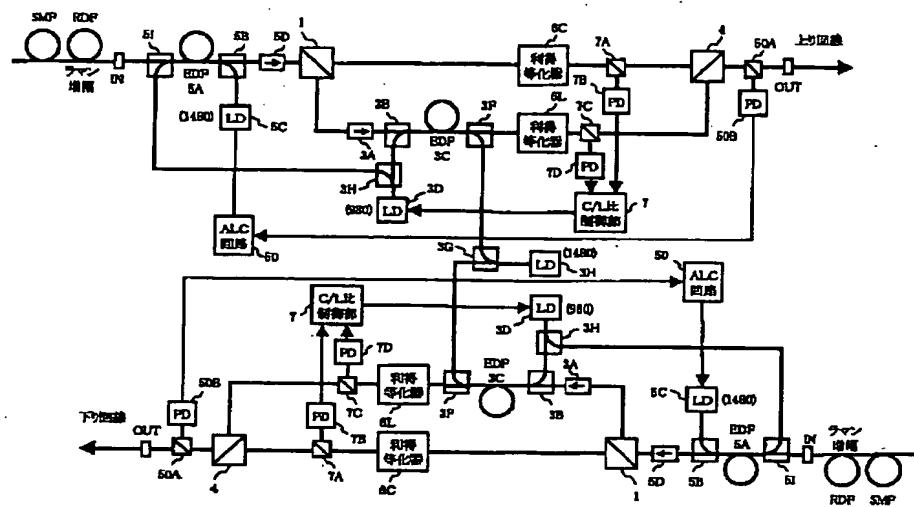
[図17]



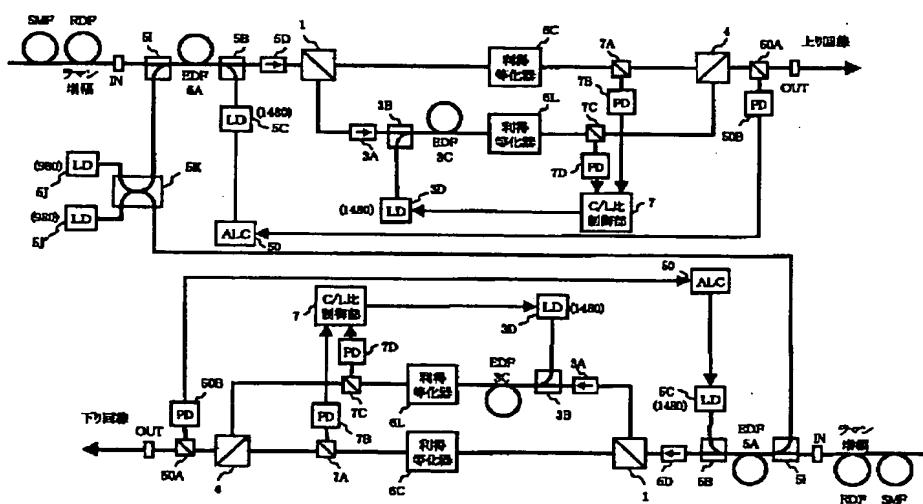
[図18]



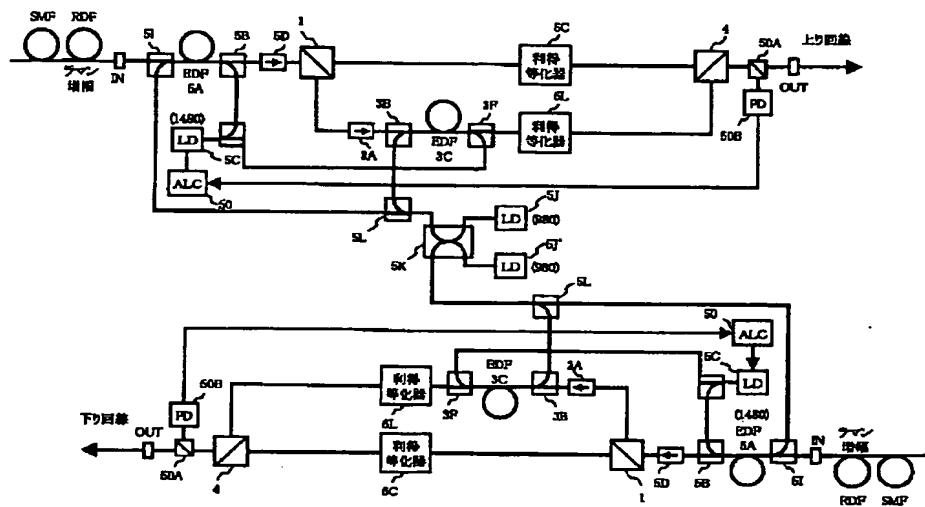
〔图19〕



[图 20]



[图21]



## フロントページの続き

(51) Int. Cl. 7  
H 04 B 10/16  
H 04 J 14/00  
14/02

### 識別記号

F I  
H 0 4 B 9/00

### テーマコード (参考)

F ターム(参考) 2K002 AA02 AB27 BA01 CA15 DA10  
GA10 HA23  
5F072 AB09 AK06 JJ20 KK15 PP07  
5K002 AA06 BA02 BA04 BA05 BA13  
CA09 CA10 CA13 DA02 EA05  
FA01 FA02